

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-077637

(43)Date of publication of application : 20.03.1995

(51)Int.Cl.

G02B 6/42

G02B 6/32

(21)Application number : 05-223723

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 08.09.1993

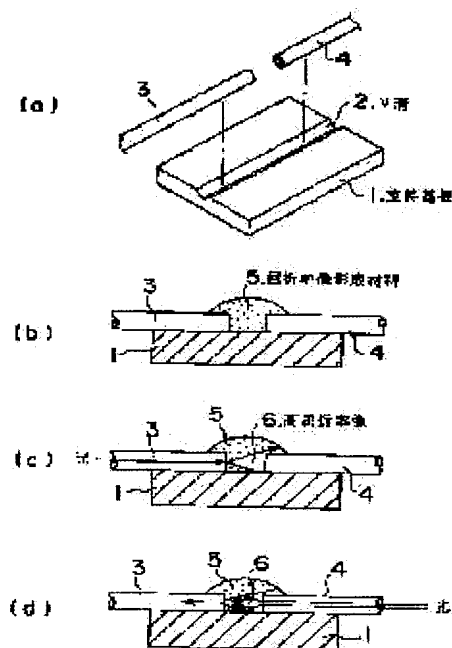
(72)Inventor : ISHIZUKA TAKESHI
MOTOYOSHI KATSUSADA
TSUKAMOTO KOJI
YOSHIMURA TETSUZO
YONEDA YASUHIRO

(54) OPTICAL ELEMENT COUPLING METHOD AND REFRACTIVE INDEX IMAGE FORMING MATERIAL

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide the optical element coupling method which is good in coupling efficiency when optical elements are optically coupled with each other and facilitates the adhesion of them by irradiating the refractive index image forming material with light from an end surface of at least one of the two optical elements and forming a refractive index distribution.

CONSTITUTION: The two optical fibers 3 and 4 are mounted in the V groove 2 of a support substrate 1 and fixed so that their end surfaces face each other at an interval. The refractive index forming material 5 is irradiated with light from at least one of the optical fibers 3 and 4. Consequently, a high-refractive-index image 6 based upon the intensity distribution of the light projected from the optical fiber 3 or 4 is formed on the refractive index image forming material 5. Further, when the inside is irradiated with light for a signal from one optical fiber 4 contacting the widest end part of the high-refractive-index image 6, the light is converged on the narrowest part through the lens effect of the high-refractive-index image 6 and made incident on the core of the other optical fiber 3. Consequently, the high coupling efficiency is obtained even unless the positioning precision of the optical fibers 3 and 4 is high.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-77637

(43) 公開日 平成7年(1995)3月20日

| | | | | |
|---------------------------|------|---------|-----|--------|
| (51) Int.Cl. ⁶ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
| G 0 2 B | 6/42 | 9317-2K | | |
| | 6/32 | 9317-2K | | |

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平5-223723

(22) 出願日 平成5年(1993)9月8日

(71) 出願人 000005223
富士通株式会社
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72) 発明者 石塚 剛
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(72) 発明者 本吉 勝貞
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(72) 発明者 塚本 浩司
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 岡本 啓三

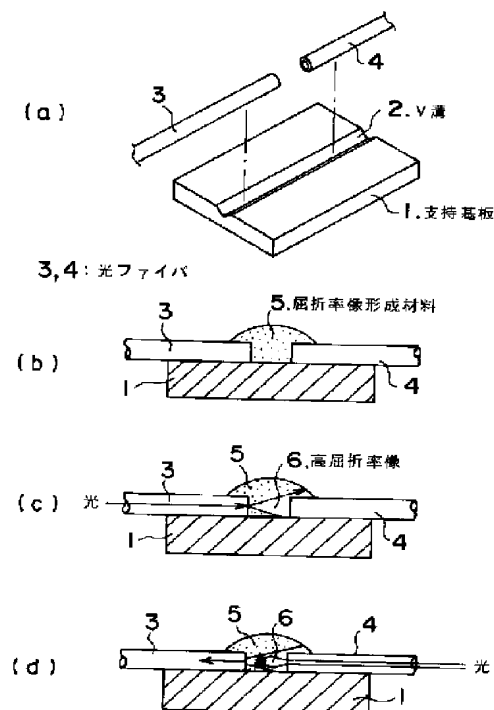
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学素子結合方法及び屈折率像形成材料

(57) 【要約】

【目的】 光学素子結合方法に関し、光学素子同士を光結合する場合に結合効率を良くし、且つそれらの接着を容易にすること。

【構成】 接着剤を兼ねた屈折率像形成材料により2つの光学素子の端面を間隔をおいて接続し、ついで、少なくとも一方の光学素子を通してそれらの端面の間にある屈折率分布形成材料に光を照射し、これにより集光性のレンズ効果を有する屈折率分布を形成ことを含む。



【特許請求の範囲】

【請求項1】2つの光学素子(3, 4)のそれぞれの端面を間隔をおいて固定する工程と、

光学素子用の接着剤としての機能を有し、且つ特定波長帯の光の強度により屈折率分布を生じる屈折率像形成材料(5)を2つの前記光学素子(3, 4)の前記端面の間に供給する工程と、

2つの前記光学素子(3, 4)の少なくとも一方の前記端面から前記屈折率像形成材料(5)に前記特性波長帯の光を照射して集光性のレンズ効果を有する屈折率分布(6)を形成する工程とを有する光学素子結合方法。

【請求項2】光学素子用の接着剤としての機能を有し、且つ特定波長帯の光の強度により屈折率が高くなる屈折率像形成材料(5)を支持体(1)の上に供給する工程と、

屈折率像形成材料(5)を介して互いの端面を対向させて2つの光学素子(3, 4)を前記支持体(1)の上に載置する工程と、

2つの前記光学素子(3, 4)の少なくとも一方の端面から前記屈折率像形成材料(5)に前記特性波長帯の光を照射して集光性のレンズ効果を有する屈折率分布(6)を形成する工程とを有する光学素子結合方法。

【請求項3】光学素子用の接着剤としての機能を有し、且つ特定波長帯の光の強度により屈折率が高くなる屈折率像形成材料(5)を、支持体(11)の上の第一の光学素子(3)の端面に付着させた状態にする工程と、

前記第一の光学素子(3)の前記端面に対向する第二の光学素子(4)の端面と前記第一の光学素子(3)の前記端面のうち少なくとも一方から前記特定波長帯の光を照射して集光性のレンズ効果を有する屈折率分布(6B)を形成する工程とを有することを特徴とする光学素子結合方法。

【請求項4】特定波長帯の光を照射することにより屈折率分布を生じる材料であって、エポキシ基を有する脂環式化合物又は鎖式化合物と、芳香族環又はハロゲンを含むエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤とを含むことを特徴とする屈折率像形成材料。

【請求項5】特定波長帯の光を照射することにより屈折率分布を生じる材料であって、有機変成シリコンと、芳香族環又はハロゲンを含むエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤を含むことを特徴とする屈折率像形成材料。

【請求項6】前記有機変成シリコンは、アクリル変成シリコン、メタクリル変成シリコン又はエポキシ変成シリコンのいずれかであることを特徴とする請求項5記載の屈折率像形成材料。

【請求項7】特定波長帯の光を照射することにより屈折率分布を生じる材料であって、シリコンを含有するエチ

レン不飽和化合物と、一般式が $R_1CH=CHCOOR_2$ (R_1 は、 CH_3 、 H のいずれかで、 R_2 は、炭素数1~4の鎖式化合物又は脂環式化合物基である)で示されるエチレン不飽和化合物と、熱重合開始剤とを溶媒に溶解し、これを加熱攪拌して共重合物溶液を作製するとともに、該共重合物溶液を室温まで放冷した後に、芳香族環又はハロゲンを含むエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤を該共重合物溶液に添加することにより形成されることを特徴とする屈折率像形成材料。

【請求項8】特定波長帯の光を照射することにより屈折率分布を生じる材料であって、シリコンを含有するエチレン不飽和化合物と、一般式が $R_1CH=CHCOOR_2$ (R_1 は、 CH_3 、 H のいずれかで、 R_2 は、炭素数1~4の鎖式化合物又は脂環式化合物基である)で示されるエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、熱重合開始剤とを溶媒に溶解し、これを加熱攪拌して共重合物溶液を作製するとともに、該共重合物溶液を室温まで放冷した後に、芳香族環又はハロゲンを含むエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤をその共重合物溶液に添加することにより作製されることを特徴とする屈折率像形成材料。

【請求項9】特定波長帯の光を照射することにより屈折率分布を生じる材料であって、末端に水素基を有するアクリレート又はメタクリレートをその構造単位中に含む熱硬化性共重合体と、芳香族環又はハロゲンを含むエチレン不飽和化合物一、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤とからなることを特徴とする屈折率像形成材料。

【請求項10】前記熱硬化性共重合体は、クロロトリフロロエチレンと、ビニルトリメチルアセテートと、末端に水酸基を有するアクリレート又はメタクリレートをその構造単位中に含む物質とを有することを特徴とする請求項9記載の屈折率像形成材料。

【請求項11】前記芳香族環又はハロゲンを含むエチレン不飽和化合物は、アリルカルバゾール、メタクリロイルオキシエチルカルバゾール、アクリロイルエチルオキシカルバゾール、ビニルカルバゾール、ビニルナフタレン、ナフチルアクリレート、トリプロモフェニルアクリレート、ジプロモフェニルアクリレート、フェノキシエチルアクリレートのいずれか1つ、又はそのうちのいずれかの混合物であることを特徴とする請求項4、5、7、8又は9記載の屈折率像形成材料。

【請求項12】請求項4、5、6、7、8、9、10又は11記載の屈折率像形成材料を、互いに対向する2つの光学素子の端面の間に挟む工程と、少なくとも一方の前記光学素子の端面から前記屈折率像形成材料に特定波長帯の光を照射して集光性のレンズ効果を有する屈折率分布を形成する工程とを有することを特徴とする光学素

子結合方法。

【請求項13】前記光学素子は、光ファイバ、導波路、半導体レーザ、発光ダイオード、フォトダイオード、半導体光増幅器のうちのいずれかであることを特徴とする請求項1、2、3又は12記載の光学素子結合方法。

【請求項14】光照射又は加熱によって前記屈折率像形成材料を硬化させる工程を有することを特徴とする請求項1、2、3又は12記載の光学素子結合方法。

【請求項15】結合する前記光学素子間の間隔を、0.1mm以上とすることを特徴とする請求項1、2、3、12、13又は14記載の光学素子結合方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光学素子結合方法及び屈折率像形成材料に関し、より詳しくは、光通信や光インターコネクション等において光学素子間の結合の方法と、これに使用される結合材料に関する。

【0002】

【従来の技術】光学素子は、光インターコネクション、光通信などの種々の光情報処理システムに使用される。光学素子では、半導体レーザ等の光源からの光を導波路や光ファイバを用いて伝送し、伝送された光はフォトダイオードなどで電気信号に復元することが行われる。

【0003】このため、発光素子又は受光素子を光ファイバや光導波路に結合する結合器が必要となる。これらの結合器については、例えば次の文献などにおいて解説されている。

1 光通信素子光学－発光・受光素子、米津宏推著、光学図書発行

2 I S D N時代の光ファイバ技術、大久保勝彦著、理工学社発行

3 光通信要覧、平山宏ら編集、科学新聞社発行

これらの文献によると、端面発光型半導体レーザは、発振層が数百nm×数μm程度の矩形構造をしており、光の放射角は垂直方向20°～60°、水平方向5°～20°程度である。また、面発光型LEDは、発光領域径が30μm～40μmと大きく、放射角も120°程度である。

【0004】これに対して、シングルモード光ファイバのコア径は、数μm～10μm程度、マルチモード光ファイバのコア径は数十μm程度である。従って、光半導体素子と光ファイバを結合する場合には、結合損失を低減するために1μmオーダーの精密なアライメントが要求される。精密なアライメントを行い、発光素子と光ファイバの端面同士を突き当てて直接結合する場合、例えば端面発光型半導体レーザとシングルモード光ファイバとの結合効率は30%となり、また、端面発光型半導体レーザとマルチモード光ファイバとの結合効率は50%、また、面発光型発光ダイオードとマルチモード光ファイバの結合効率は6%程度である。

【0005】また、端面発光型半導体レーザとシングル

モード光ファイバとの結合方式としてレーザとファイバの間にレンズを挿入する方式が検討されており、この場合、結合効率は50%程度であるが、精密なアライメントを必要とする部品点数が増えるため、作成はますます容易でなくなる。一方、光ファイバと導波路とを結合する場合には、導波路とファイバのコア径を一致させ、軸ズレを生じさせないようにすることにより、直接結合で56～79%の結合効率が得られる。

【0006】しかし、その直接結合は、高効率で結合できる導波路と光ファイバのコア径に制限があり、1μmオーダーの精密なアライメントを必要とするために結合が容易でないという問題がある。また、上述の直接結合やレンズ結合に代わる方式も提案されており、特開昭55-43538号公報、特開昭60-173508号公報では、光を照射することで屈折率が変化する材料を使用する方式が提案されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかし、前者の公報において提案された光結合器の接続方法は、光の強度に比例して屈折率が変化する物質からなる光結合器基体に、光を入出力すべき位置から光を入射し、前記光結合器基体の屈折率を変化させ、自己的に光導路を形成させるようにしたことを特徴とする光結合器の製造方法である。これを使用するためには、この光結合器と結合しようとする光ファイバなどの素子を結合するために配置、固定が必要になる。このため例えば、光ファイバ挿入用の孔などを設ける必要が生じる。

【0008】また、後者の公報では、相対向させた2つの導波路間に位相変化性感光性媒質を配置し、前記2つの導波路の双方から前記感光性媒質に向けて光を通すことにより、前記感光性媒質を局所的に変性させて結合用導波路を形成することを特徴とする光導波路接続方法が提案されている。本公報は、互いに接続すべき導波路間に感光性媒質を挟み、この中に結合用導波路を形成することにより、軸ずれ損失の低減を図ることを目的としており、導波路間の間隔を0.1mm以下とし、感光性媒質に向けて通す光を紫外光とすることを好適としており、その結果、回折により少し拡がりながらも、ほとんど広がりが生じない結合用導波路が形成されるとしている。本公報は、感光性媒質に形成される導波路と導波路のつながりを利用したものであり、接続しようとする導波路間の位置ずれは、媒質に形成される導波路間でも受け継がれており、コア径を越えるような大きな位置ずれには対応できない。

【0009】一方、その光結合器として使用可能な材料としては、次のようなものがある。例えば、先の前者公報では、カルコゲナイド系のアモルファス半導体、あるいは光重合性単量体を含んだ高分子材料が用いられると記載されており、後者公報では、デュポン社のフォトリマ、コダック社のKPR（商標名）フォトレジスト、

オプチコン・ケミカル社の U、V、57 (商標名) などが知られていると記載されている。

【0010】また、光を照射することで屈折率が変化する屈折率像形成材料としては、次のものがある。例えば、特開平 2-3081 号公報に記載されているような熱可塑性重合体とエチレン系不飽和単量体と重合開始剤とからなる材料がある。また、特開平 2-3082 号公報に記載されているような、ポリビニルアセテート、ポリビニルブチラール、ポリビニルアセタール、ポリビニルホルマール等のセグメントを主要部として含むインターポリマー、或いは、それらのセグメントの混合物よりなる群から選ばれたポリマー性バインダと、エチレン性不飽和モノマと、光開始剤からなる材料がある。また、特開平 3-50588 号公報に記載されているような、溶剤可溶性のフッ素含有ポリマー性バインダと、エチレン性不飽和モノマと、光重合開始剤からなる材料がある。さらに、特開平 3-36582 号公報に記載されているような、アリルジグリコールカーボネートと、2,2-ビス(3,5-ジプロモ-4-(2-メタクリロイルオキシエトキシ)フェニル)プロパンと、光重合開始剤からなる材料等が提案されている。

【0011】しかし、これらの材料は、バインダとして熱可塑性樹脂やメタクリロイル系重合体等を使用しているために耐熱性が低い。本発明はこのような問題に鑑みてなされたものであって、光学素子同士を光結合する場合に結合効率が良く、且つそれらの接着が容易な光学素子結合方法を提供するとともに、耐熱性の良い光学素子結合材料を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記した課題は、図 1 に例示するように、2つの光学素子 3、4 のそれぞれの端面を間隔をおいて固定する工程と、光学素子用の接着剤としての機能を有し、且つ特定波長帯の光の強度により屈折率が高くなる屈折率像形成材料 5 を 2つの前記光学素子 3、4 の前記端面の間に供給する工程と、2つの前記光学素子 3、4 の少なくとも一方の前記端面から前記屈折率像形成材料 5 に前記特性波長帯の光を照射して集光性のレンズ効果を有する屈折率分布 6 を形成する工程とを有する光学素子結合方法によって達成する。

【0013】または、図 7 に例示するように、光学素子用の接着剤としての機能を有し、且つ特定波長帯の光の強度により屈折率が高くなる屈折率像形成材料 5 を支持体 1 の上に供給する工程と、屈折率像形成材料 5 を介して互いの端面を対向させて 2つの光学素子 3、4 を前記支持体 1 の上に載置する工程と、2つの前記光学素子 3、4 の少なくとも一方の端面から前記屈折率像形成材料 5 に前記特性波長帯の光を照射して集光性のレンズ効果を有する屈折率分布 6 を形成する工程とを有する光学素子結合方法によって達成する。

【0014】または、図 8 に例示するように、光学素子

用の接着剤としての機能を有し、且つ特定波長帯の光の強度により屈折率が高くなる屈折率像形成材料 5 を、支持体 11 の上の第一の光学素子 3 の端面に付着させた状態にする工程と、前記第一の光学素子 3 の前記端面に対向する第二の光学素子 4 の端面と前記第一の光学素子 3 の前記端面のうち少なくとも一方から前記特定波長帯の光を照射して集光性のレンズ効果を有する屈折率分布 6 を形成する工程とを有することを特徴とする光学素子結合方法により達成する。

【0015】または、特定波長帯の光を照射することにより屈折率分布を生じる材料であって、エポキシ基を有する脂環式化合物又は鎖式化合物と、芳香族環又はハロゲン含有するエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤とを含むことを特徴とする屈折率像形成材料によって達成する。

【0016】または、特定波長帯の光を照射することにより屈折率分布を生じる材料であって、有機変成シリコンと、芳香族環又はハロゲン含有するエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤を含むことを特徴とする屈折率像形成材料により達成する。または、前記有機変成シリコンは、アクリル変成シリコン、メタクリル変成シリコン又はエポキシ変成シリコンのいずれかであることを特徴とする屈折率像形成材料により達成する。

【0017】または、特定波長帯の光を照射することにより屈折率分布を生じる材料であって、シリコン含有するエチレン不飽和化合物と、一般式が $R_1CH=CHCOOR_2$ (R_1 は、 CH_3 、 H のいずれかで、 R_2 は、炭素数 1~4 の鎖式化合物又は脂環式化合物基である) で示されるエチレン不飽和化合物と、熱重合開始剤とを溶媒に溶解し、これを加熱攪拌して共重合体溶液を作製するとともに、該共重合体溶液を室温まで放冷した後に、芳香族環又はハロゲン含有するエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤を該共重合体溶液に添加することにより形成されることを特徴とする屈折率像形成材料によって達成する。

【0018】または、特定波長帯の光を照射することにより屈折率分布を生じる材料であって、シリコン含有するエチレン不飽和化合物と、一般式が $R_1CH=CHCOOR_2$ (R_1 は、 CH_3 、 H のいずれかで、 R_2 は、炭素数 1~4 の鎖式化合物又は脂環式化合物基である) で示されるエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、熱重合開始剤とを溶媒に溶解し、これを加熱攪拌して共重合体溶液を作製するとともに、該共重合体溶液を室温まで放冷した後に、芳香族環又はハロゲン含有するエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤をその共重合体溶液に添加することにより作製されることを特徴とする屈折率像形成材料により達成する。

【0019】または、特定波長帯の光を照射することにより屈折率分布を生じる材料であって、末端に水素基を有するアクリレート又はメタクリレートをその構造単位中に含む熱硬化性共重合体と、芳香族環又はハロゲンを含有するエチレン不飽和化合物一、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤とからなることを特徴とする屈折率像形成材料により達成する。

【0020】または、前記熱硬化性共重合体は、クロロトリフロロエチレンと、ビニルトリメチルアセテートと、末端に水酸基を有するアクリレート又はメタクリレートをその構造単位中に含む物質とを有することを特徴とする屈折率像形成材料により達成する。または、前記芳香族環又はハロゲンを含有するエチレン不飽和化合物は、アリルカルバゾール、メタクリロイルオキシエチルカルバゾール、アクリロイルエチルオキシカルバゾール、ビニルカルバゾール、ビニルナフタレン、ナフチルアクリレート、トリプロモフェニルアクリレート、ジプロモフェニルアクリレート、フェノキシエチルアクリレートのいずれか1つ、又はそのうちのいずれかの混合物であることを特徴とする屈折率像形成材料により達成する。

【0021】または、前記屈折率像形成材料を、互いに対向する2つの光学素子の端面の間に挟む工程と、少なくとも一方の前記光学素子の端面から前記屈折率像形成材料に特定波長帯の光を照射して集光性のレンズ効果を有する屈折率分布を形成する工程とを有することを特徴とする光学素子結合方法により達成する。または、前記光学素子は、光ファイバ、導波路、半導体レーザ、発光ダイオード、フォトダイオード、半導体光増幅器のうちのいずれかであることを特徴とする光学素子結合方法により達成する。

【0022】または、光照射又は加熱によって前記屈折率像形成材料を硬化させる工程を有することを特徴とする光学素子結合方法により達成する。または、結合する前記光学素子間の間隔を、0.1mm以上とすることを特徴とする光学素子結合方法により達成する。

【0023】

【作 用】本発明によれば、接着剤を兼ねた屈折率像形成材料により2つの光学素子の端面を間隔をおいて接続し、ついで、少なくとも一方の光学素子を通してそれらの端面の間にある屈折率分布形成材料に光を照射し、これにより集光性のレンズ効果を有する屈折率分布を形成する。

【0024】この集光性の屈折率分布を形成するためには、特開昭60-173508号公報で導波路を形成するために好適としている条件と相反する条件が必要であり、光学素子間の距離は0.1mm以上とすることが必要となる。また、屈折率分布を形成するための光も、光学素子から出射後のビームの拡がりを大きくするために、長波長光を使用することが望ましい。しかしこの波長は、材料の感光波長域などの特性によっても制限される

ため、光学素子間の距離を大きくすることが簡便である。

【0025】このため、屈折率分布形成材料によって光学素子同士の結合効率が良くなり、それらの位置合わせの際に高い精度が要求されなくなり、歩留りが向上する。しかも、結合しようとする光学素子を固定し、屈折率分布形成材料を供給した後に、この光学素子からの光を使用して屈折率分布を形成しているもので、光学素子の固定された位置に合わせてセルフアライメントに屈折率分布が形成されるため、ラフなアライメントで光学素子を固定することができ、さらに特開昭55-43538号公報で提案している光ファイバ挿入用の穴のような、結合しようとする素子を配置、固定するたの配慮は無用となる。

【0026】また、上記した屈折率像形成材料を採用すると、特定波長の光の照射によってモノマーを重合させモノマー密度が大きくなるので、光強度の大きさに従った高屈折率のレンズ効果を有する屈折率分布が形成される。なお、その屈折率像形成材料により光学素子を結合し、光学素子からの光照射によってそのレンズ効果を有する屈折率分布を形成した後に、光照射、加熱処理を行うと、未反応モノマーが反応して結合効率が安定化する。

【0027】一方、本発明により示した物質を光学素子結合材料に使用した場合には、耐熱性が良い。

【0028】

【実施例】そこで、以下に本発明の実施例を図面に基づいて説明する。

(a) 本発明の第1実施例の説明

図1は、本発明の第1実施例の光学素子結合方法を示す断面図である。まず、図1(a)に示すように、支持基板1のV溝2に2本の光ファイバ3、4を載置し、その端面同士の間隔を開けて対向させて固定する。この時、ファイバ端面間の距離は、0.1mm以上とする。

【0029】次に、屈折率が特定波長の光の照射によって高屈折率化する屈折率像形成材料を溶媒に溶解したものを、図1(b)に示すように2つの光ファイバ3、4の端面の隙間とその周辺に滴下する。これを数時間放置し、乾燥させる。その屈折率像形成材料としては、例えば、エポキシ基を有する脂環式化合物又は鎖式化合物と、芳香族環又はハロゲンを含有するエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤とを含むものがある。その他の材料は、後の実施例で説明する。

【0030】この後に、屈折率像形成材料5に向けて光ファイバ3、4の少なくとも一方から光を照射する。この光の波長は、光の広がりを大きくするために長波長であることが望ましいが、具体的には屈折率像形成材料5の感光波長域を考慮して選択する。高屈折率像が形成されるのは、光照射部分で高屈折率である光重合モノマの

重合が開始し、これによりモノマの密度が増えて、モノマ密度の低くなった光末照射部との間に屈折率差が生じるからであると考えられている。その屈折率像形成材料5を構成する屈折率像形成材料については、後の実施例でその具体例を説明する。

【0031】これにより、屈折率像形成材料5には、光ファイバ3、4から出射された光の強度分布に基づいた高屈折率像6が形成される。具体的には、図1(c)に示すように、一方の光ファイバ3から光が出射される場合には、そのコアから径が広がるようなホーン型の高屈折率像6が形成される。また、光ファイバ3、4の双方から光が出る場合には、図2に示すように中央部が最も広がっている形状、例えば断面菱形の高屈折率像6aが形成される。

【0032】この後に、必要に応じて、紫外線などの光照射、或いは加熱により未反応モノマーを反応させて屈折率像形成材料5を安定化するとともに、その材料5を硬化する。また、光照射によれば、屈折率像形成材料5内に残留した感光色素を破壊することができ、光透過性を増すことができる。以上の工程により、光ファイバ3、4同士は光結合され、かつ、支持基板1に接着固定される。

【0033】そして、2つの光ファイバ3、4の端面の間に存在する屈折率像形成材料5内でホーン型の高屈折率像6が形成されている場合には、その高屈折率像6の最も広い端部に接する一方の光ファイバ4からその内部に信号用の光を照射すると、その光は、高屈折率像6のレンズ効果によりその最も狭い部分に集光して他方の光ファイバ3のコアに入射することになる。一般的に、信号用の光は、半導体レーザなどの赤外光が用いられ、赤外光に感光する材料は少ないので、屈折率像6を形成するための光とは波長が異なる場合が多い。

【0034】この結果、光ファイバ3、4の位置合わせ精度が緩やかであっても、屈折率像6の収光機能によって高い結合効率が得られることになる。なお、光ファイバ3、4の端部間の間隔を広げて、結合器長を長くすることにより、高いアイソレーション性を持たせることができる。次に、フーリエ変換を用いた二次元導波路解析法（電子通信学会論文；J66-C, 10(1983)732）を用いて解析した結果を以下に示す。

【0035】屈折率像形成材料5内では光照射強度分布に対応した屈折率分布が形成されると仮定すると、一方の光コアから高屈折率像形成用の光を照射した後は、図3に示すような屈折率分布が形成される。この解析例では、光ファイバのコア径が $10\mu\text{m}$ 、コア間距離が $1000\mu\text{m}$ 、コア層間の光軸ズレが $0\mu\text{m}$ 、コア層の屈折率 1.60 、クラッドの屈折率 1.58 、材料に照射する光の波長が 488nm 、屈折率像形成後の材料の周囲の屈折率 1.58 、材料の高屈折率像とその周囲との屈折率差 0.01 と仮定している。

【0036】このような屈折率分布を有する屈折率像形成材料に、一方の光ファイバ3のコアから波長 $1.3\mu\text{m}$ の光を照射すると、光伝搬パターンは図4に示すようになり、光は高屈折率像によって他方の光ファイバ4のコアに集光する。屈折率像形成材料5による光吸収や散乱による光損失を除外すると、理論上 90% 以上の結合効率が得られる。

【0037】ところで、光ファイバ、半導体レーザ、光導波路、光増幅素子等の光学素子同士を結合する場合に、上記した方法によれば初期の光軸ズレや角度ズレに対して許容幅は大きくなる。例えば、コア層同士の光軸が $10\mu\text{m}$ ずれている場合に、一方の光コアから高屈折率像形成用の光を照射した後は、屈折率分布は図5に示すようになる。この例では、2つの光ファイバ3、4のコア層間の距離が $1000\mu\text{m}$ であり、それぞれのコア径が $10\mu\text{m}$ 、コア層の屈折率が 1.60 、クラッドの屈折率が 1.58 であり、屈折率像形成材料に照射する光の波長が $1.3\mu\text{m}$ 、屈折率像形成後の材料の周囲の屈折率が 1.58 、材料の高屈折率像とその周囲との屈折率差 0.01 と仮定している。

【0038】光軸ズレが $10\mu\text{m}$ の場合にも、材料による光損失を除いた結合効率は、理論上 50% 以上となる。以上のように形成された光学素子間のアライメントに対する許容誤差は大きくなる。なお、光ファイバと半導体レーザを光結合する場合には、図6(a)に示すように、支持基板7の上に光ファイバ3と半導体レーザ8を載せ、その間に屈折率像形成材料5を供給する。その後、その屈折率像形成材料5を乾燥して光ファイバ3と半導体レーザ8を接着状態にしてから、光ファイバ3から高屈折率像形成用の光を導入して屈折率像形成材料5にホーン型の高屈折率像6を形成する。これにより、半導体レーザ8の端面から出た光は、高屈折率像6により収光されて光ファイバ3のコアに入射することになる。

(b) 本発明の第2実施例の説明

上記した実施例では、2つの光学素子の端部を対向させた後に、その間隙とその周辺に屈折率像形成材料を供給したが、予めその屈折率像形成材料を厚く供給した支持基板の上に2つの光学素子をおいてそれらの素子を結合することもできる。

【0039】次に、その実施例を図7に基づいて説明する。まず、図7(a)に示すように、溶剤を溶かした屈折率像形成材料5を支持基板1のV溝2に滴下した後に、図7(b)に示すように、その屈折率像形成材料5を端面で挟むようにして2つの光ファイバ3、4をV溝2に載置する。次に、屈折率像形成材料5を数時間放置して乾燥した後に、図7(c)に示すように、少なくとも一方の光ファイバ3のコアから高屈折率像形成用の光を導入して屈折率像形成材料5に光を照射し、これにより第1実施例で説明した高反射率部6を形成する。

【0040】この後に、必要に応じて、第1実施例と同

様に、紫外線などの光照射、或いは加熱により屈折率像形成材料を硬化する。このようにして接続された光ファイバ3、4は、第1実施例と同様に、屈折率像形成材料5によって支持基板1に接着固定されるとともに、その内部に形成された高屈折率像6によって光の発散が抑制されて図7(d)に示すように一方の光ファイバ4から他方の光ファイバ3へと光を伝播することになる。

(c) 本発明の第3実施例の説明

上記した2つの実施例では、2つの光学素子端面の間とその周辺に屈折率像形成材料を供給してその材料の中に光を通過させるようにしたが、発光素子から出射した光を空間を通して光ファイバや受光素子に入射させたり、或いは、空間中を伝搬する光を受光素子により受光することもある。

【0041】次に、空間中に伝搬する光を送受光する場合の光結合について説明する。まず、図8(a)に示すように、第1の光ファイバ3の光入出力部に屈折率像形成材料5を塗布し、これを乾燥して支持基板11に固定する。そして、その光ファイバ3から屈折率像形成材料5に屈折率変更用の光を出力し、図8(b)に示すように、光照射強度分布によって空間側が広がるホーン型の高屈折率像6Bを形成する。この後に、必要に応じて、紫外線などの光照射、或いは加熱により屈折率像形成材料を硬化する。

【0042】なお、図8(d)に示すように、2つの光ファイバ3、4の両方から光を照射して中央が最も広い高屈折率像6Cを形成してもよい。次に、図8(c)に示すように、第2の光ファイバ4の端面を高屈折率像6Bに向けて配置すると、そこから放射される光は高屈折率像6Bにより光が集められて第1の光ファイバ3のコアに入射する。この場合、第2の光ファイバ4の位置決めは、高精度を要求されない。

【0043】次に、半導体レーザと光ファイバとを空間を介して光結合する場合について図6(b)に基づいて説明する。最初に光ファイバ3を支持基板9に載せその先端に屈折率像形成材料5を供給した後に、その光ファイバ3を通して屈折率像形成材料5に光を照射すると、光の照射強度分布によって空間側が広がるホーン型の高屈折率像6Bが屈折率像形成材料5に形成される。そして、その高屈折率像6Bに対向させて半導体レーザ8から光を出射させると、その光は高屈折率像6Bにより集束されて光ファイバ3に入射することになる。

【0044】このように、離れた位置に固定された光学素子同士の光の入射、出射や、空間光ビームを光-電気変換素子に入射させる場合に有効になる。なお、本実施例の上記説明では、光学素子を支持基板に載せた後に、屈折率像形成材料を少なくともその先端部分に供給するようにしたが、屈折率像形成材料を支持基板の上に供給してから光学素子を支持基板の上に載置してもよい。

(d) 本発明の第4実施例の説明

上記した実施例では接続される2つの光学素子として、光ファイバを例にあげたが、光ファイバ、導波路、半導体レーザ、半導体光増幅器、導波型フォトダイオード、端面発光型発光素子のうち同じ光学素子或いは異なる光学素子を結合する場合にも上記したような結合方法を用いてもよい。

【0045】2つの光学素子の端面の間とその周辺に供給された屈折率像形成材料に高屈折率像を形成する際の光照射方向としては、例えば、光ファイバと導波路を結合する場合にはいずれか一方又は双方から光を照射する。また、光ファイバ又は導波路とフォトダイオードとを結合する場合には、光ファイバ又は導波路からのみ光を照射してコーン型の高屈折率像を形成することになる。これによれば、高屈折率像による光集束性はなくなるが、発散性の光を伝搬させる場合に、そのコーン型の高屈折率像により自己集束的に発散の抑えられた伝搬ビームパターンとなり、光-電気変換素子の受光部に入射する光強度を向上させることができる。

【0046】例えば図6(c)に示すように、受光面が直径50 μ mのフォトダイオード13を固定し、その受光面に1mmの間隙を設けて光ファイバ3の端面を対向させ、その状態を保持しながらその間隙とその周辺に屈折率像形成材料5を供給する。そして、その光ファイバ3から波長488nmの光を導入し、この光を屈折率像形成材料5に照射して高屈折率像6Dを形成した。そして、材料に最大で0.01の屈折率差を形成した場合に、ほぼ100%の光が受光面に集まることがわかった。これに対して、上気した屈折率像形成材料に屈折率分布を形成しないときには、フォトダイオードの受光面に入射する光は約47%となった。

(e) 本発明の第5実施例の説明

この実施例では、屈折率像形成材料に高屈折率像を形成した場合としない場合の実験結果を述べる。

【0047】図9(a)に示すように、直径145 μ mの横溝21が付いているガラス筒20を支持基板22に取付けた後に、クラッドの径が125 μ m、コアの径が10 μ mの第一及び第二の光ファイバ23、24をガラス筒20の両端から挿入した。そのガラス筒20内では、2つの光ファイバ23、24の端面を横溝21の両側に位置させるとともに、その間隔を400 μ mとした。この状態で、それらの光ファイバ23、24を接着剤26により支持基板22に固定した。

【0048】次に、表1に示した屈折率像形成材料25をガラス筒20の横溝21に滴下し、図9(b)に示すように光ファイバ23、24の間に充填し、放置乾燥した。

【0049】

【表1】

| 化合物名 | 重量 (g) |
|---|--------|
| 脂環式エポキシ(EHPE-3150, ダイセル・ユーシービー株式会社) | 1. 5 |
| アリルカルバール(日本蒸留工業株式会社) | 0. 4 |
| N-(β -アクリロイルオキシエチル)カルバール(日本蒸留工業株式会社) | 0. 1 |
| トリメチロールポバトリアクリレート(共栄社油脂化学工業株式会社) | 0. 25 |
| 多官能モノマ(ArT RESIN UN-100X, 根上工業株式会社) | 0. 25 |
| ビミダゾール(B1225, 東京化成工業株式会社) | 0. 02 |
| メチルトリアゾールチオール | 0. 02 |
| シクロペンタノン色素(NKX1460, 日本感光色素) | 0.0004 |
| ジクロロメタン | 1. 0 |
| テトラヒドロフラン | 1. 0 |

【0050】第二の光ファイバ24を図示しない光強度測定器に接続し、次に、レーザフォーカシングホルダ(不図示)を用いて第一の光ファイバ23に波長632. 8nmのHe-Neレーザ光を導入したところ、第二の光ファイバ24を通して光強度測定器に入射した光の強度は410nWであった。また、図示しない別の光ファイバだけを通してHe-Neレーザ光を光強度測定器に入射した場合のその光強度は43 μ Wであった。

【0051】これらの光強度測定器の測定値は、約1分間測定したときの上限値と下限値の平均である(以下、同じ)。次に、第二の光ファイバ24を光強度測定器から取り外し、レーザフォーカシングホルダを用いてその光ファイバ24を通して波長488nmのアルゴンレーザ光を屈折率像形成材料25に約50分間照射した。その光強度を1000nWとした。これにより、図9(c)に示すように、屈折率像形成材料25に高屈折率像26が形成される。

【0052】この後に、第二の光ファイバ24を光強度測定器に接続し、図9(d)に示すように、第一の光ファイバ23を通して再び波長632. 8nmの光を第二の光ファイバ24に導入すると、その光強度測定器は6780nWの値を示した。従って、アルゴンレーザ光を照射することにより、屈折率像形成材料25には高屈折率像26が形成されたことが確認される。

【0053】これにより第一の光ファイバ23から第二の光ファイバ24に伝搬したレーザ光の強度は約16倍に増加し、高屈折率像形成の効果を確認できた。光結合効率は16%程度と算出される。なお、表1に示した屈折率像形成材料は、第1～第4実施例にも適用されるものであり、アルゴンレーザ光が照射された部分はモノマーが重合し、その強度分布に応じてモノマー密度が大きくなって屈折率が高くなる。また、その屈折率像形成材料は接着剤としても機能する。

(f) 本発明の第6実施例の説明

第5実施例と同様な方法で、第一及び第二の光ファイバ23, 24をガラス筒20内に設置、固定した。

【0054】次に、ガラス筒20を支持している支持基板22を加熱台(不図示)に載置して、第5実施例と同様に屈折率像形成材料25を2つの光ファイバ23, 24の端面の間に充填し、温度60°で加熱乾燥した。次に、第二の光ファイバ24を光強度測定器に接続し、レーザフォーカシングホルダを用いてHe-Neレーザ光を第一の光ファイバ23、屈折率像形成材料25を通して第二の光ファイバ24に導入したところ、光強度測定器は110nWの光強度を示した。

【0055】この後に、第二の光ファイバ24に波長488nmのレーザ光を導入し、屈折率像形成材料25に30分間照射した。この後に、0. 5℃/分の温度低下速度で冷却した。そして、第二の光ファイバ24を光強度測定器に接続し、第一の光ファイバ23に再びHe-Neレーザ光を導入して第二の光ファイバ24を通過した光の強度を測定したところ5520nWあった。

【0056】したがって、屈折率像形成材料25を加熱乾燥した後に、その材料にアルゴンレーザ光を照射することにより高屈折率像を形成し、これにより、第一の光ファイバ23から第二の光ファイバ24に入射するHe-Neレーザ光の強度は約50倍に増加し、高屈折率像形成の効果を確認できた。光結合効率は13%程度と算出される。

【0057】以上のことから、屈折率像形成材料25に高屈折率像26を形成する前に60℃程度の加熱処理を行っても、悪影響はないことがわかった。

(g) 本発明の第7実施例の説明

第5実施例で説明した、第一及び第二の光ファイバ23, 24のクラッドとコアの径を相違させ、かつ、屈折率像形成材料25を変えたところ次のような結果が得ら

れた。

【0058】例えば、第一の光ファイバ23のクラッドの径を125 μ m、コアの径を10 μ mとし、また、第二の光ファイバ24のクラッドの径を125 μ m、コア*

*の径を50 μ mとした。

【0059】

【表2】

| 化合物名 | 重量 (g) |
|--------------------------------------|--------|
| アクリル変成シリコンワニス (KR9706, 信越化学工業株式会社) | 1.5 |
| アリルカルバゾール (日本蒸留工業株式会社) | 0.3 |
| ビニルカルバゾール (アナン) | 0.1 |
| ビニルフルテン (利ザエノス) | 0.1 |
| 多官能モノマ (ART RESIN UN-100X, 根上工業株式会社) | 0.2 |
| 1,6-ヘキサジオールジメタクリレート (共栄社油脂化学工業株式会社) | 0.2 |
| トリメチロールプロパントリアクリレート (共栄社油脂化学工業株式会社) | 0.2 |
| ビイミダゾール (B1225, 東京化成工業株式会社) | 0.02 |
| メチルトリアゾールチオール | 0.02 |
| シクロペンタノン色素 (NKX1460, 日本感光色素) | |
| ジクロロメタン | 1.0 |
| テトラヒドロフラン | 1.0 |

【0060】そして、光強度測定器に第一の光ファイバ23を接続し、第二の光ファイバ24に波長632.8nmの光を入射したときの光強度測定器の光強度は55nWであった。次に、第一の光ファイバ23を光強度測定器から外し、紫外線を第一の光ファイバ23に導入し、2つの光ファイバ23、24間にある屈折率像形成材料25に30分間照射した。

【0061】その後、第二の光ファイバ24を光強度測定器に再び接続して第一の光ファイバ23、高屈折率像26を通して波長632.8nmの光を導入したときの光強度測定器の光強度は1730nWとなり、紫外線照射前に比べて2つの光ファイバ23、24を伝搬する光強度は約31倍に増加した。なお、表2に示した屈折率像形成材料は、第1～第4実施例にも適用されるものであり、アルゴンレーザ光が照射された部分はモノマーが重合し、その強度分布に応じてモノマー密度が大きくなって屈折率が高くなる。また、その屈折率像形成材料は接着剤としても機能する。

(h) 本発明の第8実施例の説明

本実施例の屈折率像形成材料は、次のようにして調合される。

【0062】まず、7.2gのジオキサン内に、アクリル変成シリコンワニスKR9706を1.6g、メチルメタクリレート0.8g、グリシジルメタクリレート0.3g、アゾビスイソブチロニトリル0.04g溶解し、これを70℃で1時間加熱攪拌した。そして、こ

れを室温まで放冷した後に、その中に、トリメチロールプロパントリアクリレートとネオペンチルグリコールジメタクリレートとを各々40 μ lずつ滴下し、ついでこれらを攪拌した後、さらに70℃で1時間加熱攪拌した。

【0063】次に、それらを室温まで放冷した後に、その中に、テトラヒドロフランを1.0g、アリルカルバゾール0.66g、N-ビニルカルバゾール0.66g、トリメチロールプロパントリアクリレート0.66g、ビイミダゾール (B1225, 東京化成) を0.04g、メチルトリアゾールチオール0.04g及びシクロペンタノン色素 (NKX1460, 日本感光色素) を添加した。

【0064】これにより、屈折率像形成材料の作製が終わる。この後に、第7実施例に用いたと同じ第一及び第二の光ファイバ23、24をガラス筒20に入れた。そして、2つの光ファイバ23、24の間に何も充填しない状態で、第一の光ファイバ23を光強度測定器 (不図示) に接続するとともに、第二の光ファイバ24に波長632.8nmの光を導入したところ、光強度測定器は8 μ Wの光強度を示した。

【0065】一方、別の光ファイバを通して波長632.8nmの光を光強度測定器に入力したところ、60 μ Wの光強度を示した。次に、上記した屈折率像形成材料25をガラス筒20の横溝21内に滴下し、2つの光ファイバ23、24の間にその材料25を充填し、この状態を14時間放置し、乾燥した。

【0066】そして、第一の光ファイバ23を光強度測定器に接続し、第二の光ファイバ24に波長632.8 nmの光を導入したところ、光強度測定器は9 μWの光強度を示した。次に、第二の光ファイバ24を通してアルゴンレーザ光を屈折率像形成材料25に80分間照射した。これにより、高屈折率像26が形成される。

【0067】この後に、別の光ファイバを用いて波長488 nmの光を光強度測定器に接続した時の光強度は40 nWであった。光強度測定器に第一の光ファイバ23を接続し、第二の光ファイバ24に632.8 nmの光を導入したときの光強度測定器の光強度は30 μWであった。その結合効率は50%と算出される。

(i) 本発明の第9実施例の説明

本実施例の屈折率像形成材料は、次のようにして調査される。

【0068】まず、7.2 gのジオキサンに、アクリル変性シリコンワニスKR9706を1.6 g、メチルメタクリレート0.8 g、グリシジルメタクリレート0.4 g、アゾビスイソブチロニトリル0.04 g溶解し、これを70℃で2時間加熱攪拌した。次に、これを室温まで放冷した後に、この中にアリルカルバゾール0.66 g、N-ビニルカルバゾール0.66 g、トリメチロールプロパントリアクリレート0.66 g、ビミダゾール0.04 g、メチルトリアゾールチオール0.04 g、およびシクロペンタノン色素を0.0004 g添加し、攪拌した。これにより、屈折率像形成材料の作製が終わる。

【0069】この材料を用い、第8実施例の波長632.8 nmの光に代えて、波長1.3 μmの光を用いて実験した。まず、第8実施例に用いたと同じ第一及び第二の光ファイバ23、24をガラス筒20に入れた。次に、第8実施例に示した屈折率像形成材料25をガラス筒の横溝に滴下し、その中の2つの光ファイバ23、24の間にその材料25を充填し、この状態を17時間放置し、乾燥した。

【0070】そして、第一の光ファイバ23を光強度測定器（不図示）に接続し、第二の光ファイバ24に波長1.3 μmの光を導入したところ、光強度測定器は50 μWの光強度を示した。なお、別な1本の光ファイバ（不図示）を通して同じ波長の光を光強度測定器に入力したところ、180 μWの光強度を示した。

【0071】次に、第二の光ファイバ24を通してアルゴンレーザ光を屈折率像形成材料25に80分間照射して、高屈折率像26を形成した。この後に、光強度測定器に第一の光ファイバ23を接続し、第二の光ファイバ24に再び1.3 μmの光を導入したときの光強度測定器の光強度は170 μWであった。

【0072】ところで、この屈折率像形成材料25をそのまま放置すると、時間の経過とともにその中の未反応のモノマーが重合するので、光強度は低下するので、安

定性に欠ける。そこで、上記した高屈折率像26を形成し、光強度測定後に、紫外線を外部から160分照射しさらに、照射開始から10分後に全体を40℃で加熱した。この後に、第一の光ファイバ23、高屈折率像26、第二の光ファイバ24を通した光の強度を測定したところ、約100 μWになった。

【0073】これを17時間放置して、再びその光強度を測定したところ、その値は殆ど変化しないことがわかり、紫外線照射及び加熱によって光強度の低下はみられず、安定していることがわかった。

(j) 本発明の第10実施例の説明

本実施例の屈折率像形成材料は、次のようにして調査される。

【0074】まず、4.0 gのジオキサンに、シリコン含有モノマー（V4800、チッソ）を0.1 g、メチルメタクリレート0.35 g、トリフロロメチルメタクリレート0.35 g、グリシジルメタクリレート0.1 g、アゾビスイソブチロニトリル0.02 gを溶解し、これを70℃で1時間加熱攪拌した。そして、これを室温まで放冷した後に、その中に、トリメチロールプロパントリアクリレートとネオペンチルグリコールジアクリレート40 μlずつ滴下し、ついでこれらを攪拌した後、さらに70℃で6時間加熱攪拌した。

【0075】次に、室温まで放冷した後に、テトラヒドロフランを1.0 g、アリルカルバゾール0.25 g、N-ビニルカルバゾール0.25 g、メタクリロキシエチルオキシカルバゾール0.25 g、トリメチロールプロパントリアクリレート0.25 g、ビミダゾール（B1225、東京化成工業株式会社）0.04 g、メチルトリアゾールチオール0.04 g、及びシクロペンタノン色素（NKX1460、日本感光色素）を添加した。

【0076】これにより、屈折率像形成材料の作製が終わる。次に、図10(a)に示すように、最大幅が300 μmのV溝31を有する30×30×5 mmの大きさの第1のガラス板30を用いて、その一方の端面に厚さ0.2 mmの第2のガラス板32の一面を接着した。そして、一端にコネクタが接続された光ファイバ33の他端とその近傍を裸にして第1のガラス板30のV溝31に嵌め、その他端が第2のガラス板32から1 mm離れるように固定した。

【0077】次に、図10(b)に示すように、半導体レーザ34を微動ステージ37に設置し、その光出力部分を第2のガラス板32を介して光ファイバ33の端面と対向させた。さらに、光ファイバ33の一端のFCコネクタを光強度測定器（不図示）に接続した。その半導体レーザ34に40 mAの電流を流して発振させ、光を放出させたところ、光強度測定器の光強度は15 nWであった。

【0078】次に、図10(c)に示すように、上記した

屈折率像形成材料 35 を光ファイバ 33 の端面と第 2 のガラス板 32 の間に滴下し、これを乾燥した。そして、光ファイバ 33 を通して波長 515 nm のアルゴンレーザ光を屈折率像形成材料 35 に 150 分間照射した。これによりホーン型の高屈折率像 36 が形成される。その後、再び半導体レーザ 34 を発光させたところ、光強度測定器の光強度は 190 nW と上昇した。

【0079】なお、本実施例の屈折率像形成材料は、第 1 ～第 4 実施例にも適用されるものであり、アルゴンレーザ光が照射された部分はモノマーが重合し、その強度分布に応じてモノマー密度が大きくなって屈折率が高くなる。また、その屈折率像形成材料は接着剤としても機能する。

*

* (k) 本発明の第 11 実施例の説明

上記した屈折率像形成材料は、上述の集光性のレンズ効果を有する屈折率像だけでなく、可干渉性の光で干渉露光することにより形成される干渉縞像を屈折率像として形成することもできる。以下に、干渉縞像から屈折率像を形成し、ホログラムを作成した時の、特性について説明する。

【0080】まず、70×70mm のガラス基板に表 3 の屈折率像形成材料をドクターブレードで塗布し、窒素ボックス内で 1 時間、次いで 70℃ のオープンで 10 分間乾燥し、これを感光板として使用する。

【0081】

【表 3】

| 化合物名 | 重量 (g) |
|--------------------------------------|--------|
| 脂環式エポキシ(EHPE-3150, ダイセル・ユーシービー株式会社) | 1.0 |
| アリルカルバール(日本蒸留工業株式会社) | 0.2 |
| ビニルカルバール(アナン) | 0.2 |
| 多官能モノマー(ART RESIN UN-100X, 根上工業株式会社) | 0.2 |
| トリメチルプロパトリアルレート(共栄社油脂化学工業株式会社) | 0.2 |
| ビミダゾール(B1225, 東京化成工業株式会社) | 0.04 |
| メチルトリアゾールチオール | 0.04 |
| シクロペンタノン色素(NKX1460, 日本感光色素) | 0.0008 |
| ジオキサン | 2.0 |
| テトラヒドロフラン | 2.0 |

【0082】この感光板に、アルゴンレーザ 488 nm 光を用いて空間周波数 2500 本/mm、縞の倒れ角 0 度の透過型ホログラム像を露光した。露光強度は 2 mW/cm² とし、露光時間は 200 秒とした。露光後の感光膜を He-Ne レーザ光を用いて回折効率 (η_s : s 偏光再生時の回折効率、 η_p : p 偏光再生時の回折効率) を測定した結果、 η_s =55%、 η_p =80% であった。

【0083】次に、その透過型ホログラムを、80℃ のオープンで 1 時間加熱した。再度回折効率を測定した結果、 η_s =19%、 η_p =74% であった。膜厚は 23 μ m であ

た。膜厚は、触針式膜圧計 (アルファステップ、テンコール社) で測定した。

(1) 本発明の第 12 実施例の説明

本実施例でもホログラム像について説明する。

【0084】まず、70×70mm のガラス基板に表 4 の屈折率像形成材料をドクターブレードで塗布し、窒素ボックス内で 1 時間、次いで 70℃ のオープンで 10 分間乾燥し、これを感光板として使用する。

【0085】

【表 4】

| 化合物名 | 重量 (g) |
|--|--------|
| クロトリフロエチレン/ビニルトリメチルアセート/ヒドロキシethylアクリレート =31/51/18 モル比重合体 | 1. 0 |
| アリルカルバール(日本蒸留工業株式会社) | 0. 2 |
| ビニルカルバール(アナン) | 0. 2 |
| ナチルアクリレート(利サエス) | 0. 2 |
| 多官能モノマ(ART RESIN UN-100X, 根上工業株式会社) | 0. 2 |
| トリメチロールポバトリアクリレート(共栄社油脂化学工業株式会社) | 0. 2 |
| ビイミダゾール(B1225, 東京化成工業株式会社) | 0. 0 4 |
| メチルトリアゾールチオール | 0. 0 4 |
| シクロペンタノン色素(NKX1460, 日本感光色素) | 0.0008 |
| ジオキサン | 2. 0 |
| テトラヒドロフラン | 2. 0 |

【0086】この感光板に、アルゴンレーザ光 488 nm 光を用い、入射角45度のミラー反射型ホログラム像を露光した。露光強度は1 mW/cm² とし、露光時間は400 秒とした。露光後、瞬間分光測光器 (MCPD-100、大塚電子) を用いて、垂直入射で透過スペクトルを測定した。その結果、波長540 nm近辺に回折に起因した透過率減少領域の認められるスペクトルが得られた。回折効率は48 %、回折波長幅は9 nmであった。

【0087】次に、その反射型ホログラムを80℃のオープンで1時間加熱した。次いで、実施例12と同様に透過 30 スペクトルを測定し、回折効率と回折波長幅を算出した*

*結果、回折効率は69%、回折波長幅は28nm、膜厚は26μ m であった。

(m) 本発明の第13実施例の説明

本実施例でもホログラム像について説明する。

【0088】まず、70×70mmのガラス基板に表5の屈折率像形成材料をドクターブレードで塗布し、窒素ボックス内で1時間、次いで70℃のオープンで10分間乾燥し、これを感光板として使用する。

【0089】

【表5】

| 化合物名 | 重量 (g) |
|----------------------------------|--------|
| アクリル変成シリコン (KR9706, 信越化学工業株式会社) | 1. 0 |
| アリルカルバール(日本蒸留工業株式会社) | 0. 2 |
| ビニルカルバール(アナン) | 0. 2 |
| アロニックス M-315 (東亜合成化学工業) | 0. 2 |
| トリメチロールポバトリアクリレート(共栄社油脂化学工業株式会社) | 0. 2 |
| ビイミダゾール(B1225, 東京化成工業株式会社) | 0. 0 4 |
| メチルトリアゾールチオール | 0. 0 4 |
| シクロペンタノン色素(NKX1460, 日本感光色素) | 0.0008 |
| ジオキサン | 1. 5 |
| テトラヒドロフラン | 1. 5 |

【0090】この感光板を第11実施例と同様にして、 50 果、 $\eta_s=75\%$ 、 $\eta_p=49\%$ であった。次に、その透過型透過型ホログラムを露光した。回折効率を測定した結 50 ホログラムを80℃のオープンで1時間加熱した。再度回

折効率を測定した結果、 $\eta_s=82\%$ 、 $\eta_p=87\%$ であった。膜厚は $31\mu\text{m}$ であった。さらに、表5に示すアクリル変成シリコンをエポキシ変成シリコン(SR2115、東レダウコーニング)に代え、さらに硬化剤(SR2115K、東レダウコーニング)0.05gを加えて溶液を作製し、同様にホログラムを作製した結果、回折効率は $\eta_s=78\%$ 、 $\eta_p=70\%$ となった。

(n) 本発明の第14実施例の説明

本実施例でもホログラム像について説明する。

【0091】まず、第13実施例で用いた屈折率像形成材料を同様に塗布し、感光板を作製した。その感光板にアルゴンレーザ488nm光を用い、入射角が30度-60度の反射型ホログラム作製光学系を用いて反射型ホログラムを露光した。そして、第11実施例と同様に透過スペクトルを測定し、特性を調べた結果、回折効率は32%、回折波長幅は約9nmであった。

【0092】次に、その反射型ホログラムを、80℃のオーブンで1時間加熱した。再度スペクトルを測定し、特性を調べた結果、回折効率は42%、回折波長幅は約14nmであった。

(o) 本発明の第15実施例の説明

本実施例でもホログラム像について説明する。

【0093】まず、第7実施例で作製した屈折率像形成材料を、70×70mmのガラス基板にドクターブレードで塗布し、空素ボックス内で1時間、次いで70℃のオーブンで10分間乾燥した。この感光板にアルゴンレーザ488nm光を用い、入射角が30度-60度の反射型ホログラム作成光学系を用いて反射型ホログラムを露光した。

【0094】第11実施例と同様に透過スペクトルを測定し、特性を調べた結果、回折効率は41%、回折波長幅は約9nmであった。

(p) 本発明の第16実施例の説明

次に、屈折率像形成材料について説明する。

①まず、その屈折率像形成材料は次の物質により構成される。

【0095】第1の屈折率像形成材料は、エポキシ基を有する脂環式化合物又は鎖式化合物と、芳香族環又はハロゲンを含むエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤を有している。第2の屈折率像形成材料は、有機変成シリコンと、芳香族環又はハロゲンを含むエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤を有している。その有機変成シリコンは、例えば、アクリル変成シリコン、メタクリル変成シリコン又はエポキシ変成シリコンのいずれかである。

【0096】第3の屈折率像形成材料は次のような方法により形成されたものである。まず、シリコンを含むエチレン不飽和化合物と、一般式が $\text{R}_1\text{CH}=\text{CHCOOR}_2$ で示されるエチレン不飽和化合物と、熱重合開始剤とを溶媒

に溶解し、これを加熱攪拌して共重合物溶液を作製する。次に、その共重合物溶液を室温まで放冷した後に、芳香族環又はハロゲンを含むエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤をその共重合物溶液に添加すると、これにより屈折率像形成材料は完成する。ただし、一般式における R_1 は、 CH_3 又は H であり、 R_2 は、炭素数1~4の鎖式化合物又は脂環式化合物基である(以下、同じ)。

【0097】第4の屈折率像形成材料は次のような方法により形成されたものである。まず、シリコンを含むエチレン不飽和化合物と、一般式が $\text{R}_1\text{CH}=\text{CHCOOR}_2$ で示されるエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、熱重合開始剤を溶媒に溶解し、これを加熱攪拌して共重合物溶液を作製する。次に、その共重合物溶液を室温まで放冷した後に、芳香族環又はハロゲンを含むエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤をその共重合物溶液に添加すると、これにより屈折率像形成材料は完成する。

【0098】第5の第2の屈折率像形成材料は、末端に水素基を有するアクリレート又はメタクリレートをその構造単位中に含む熱硬化性共重合体と、芳香族環又はハロゲンを含むエチレン不飽和化合物と、多官能アクリレート又は多官能メタクリレートと、光重合開始剤からなる。その熱硬化性共重合体は、例えば、クロロトリフロロエチレン、ビニルトリメチルアセテート、及び末端に水酸基を有するアクリレート又はメタクリレートをその構造単位中に含む物質である。

【0099】ところで、上記した屈折率像形成材料において、芳香族環又はハロゲンを含むエチレン不飽和化合物は、例えば、アリルカルバゾール、メタクリロイルオキシエチルカルバゾール、アクリロイルエチルオキシカルバゾール、ビニルカルバゾール、ビニルナフタレン、ナフチルアクリレート、トリプロモフェニルアクリレート、ジプロモフェニルアクリレート、フェノキシエチルアクリレートのいずれか1つ、又はそれらの化合物のいずれかの混合物である。

【0100】②次に、屈折率像形成材料の具体例をあげる。屈折率像形成材料のバインダとして、脂環式または鎖式エポキシ、有機変成シリコン、末端に水酸基を有するエチレン不飽和化合物をその構成単位中に有する共重合物、またはシリコンを含むエチレン不飽和化合物をその構成単位中に有する共重合物を用いる。これらのバインダは反応基を有しており、加熱または光反射することで反応させることができ、優れた耐久性を得ることができる。

【0101】脂環式または鎖式エポキシとしては、3,4-エポキシシクロヘキシルメチル-3,4-エポキシシクロヘキサンカルボキシレート、ERL-4299(UCC製)、ERL-4092(UCC製)、EHPE-3150(ダイセル・ユーシービー株式会社

社)、エポライト4000、エポライト100MF、エポライト80MF、エポライト1600、エポライト1500NP、エポライト400P、エポライト400E、エポライト M-1230(共栄社油脂化学工業株式会社)、および上記化合物の混合物または共重合物が使用できる。

【0102】有機変成シリコンとしては、アクリル変成シリコン、メタクリル変成シリコン、またはエポキシ変成シリコンが使用できる。また、シリコンを含有するエチレン不飽和化合物と、エチレン不飽和化合物を溶媒中で加熱して部分的に共重合させた、共重合物をバインダとすることもできる。共重合させるモノマとして多官能アクリレート、または多官能メタクリレートを添加しても良い。シリコンを含有するエチレン不飽和化合物としては、3-アクリロキシプロピルトリメトキシシラン、3-メタクリロキシプロピルトリメトキシシラン、メタクリロキシプロピルトリス(トリメチルシロキシ)シラン、アクリロキシプロピルメチルビス(トリメチルシロキシ)シラン、アクリル変成シリコン、メタクリル変成シリコン等、およびこれらの混合物が使用できる。エチレン不飽和化合物は、メタルメタクリレート、エチルメタクリレート、プロピルメタクリレート、イソプロピルメタクリレート、n-ブチルメタクリレート、イソブチルメタクリレート、t-ブチルメタクリレート、エチルアクリレート、n-ブチルアクリレート等およびこれらの混合物を使用できる。

【0103】光反応性の単量体としては、多官能アクリレートまたは多官能メタクリレートと、芳香族環またはハロゲン含有するエチレン不飽和単量体からなる混合物を用いる。芳香族環またはハロゲン含有するエチレン不飽和単量体は、高屈折率を有し、光照射により、光照射部で重合、高密度化することにより、光照射部の屈折率を未照射部に比べ向上させる。多官能アクリレートまたは多官能メタクリレートは、光反応性を向上させ、重合物を3次元架橋化させることで、耐久性を向上させる。芳香族環またはハロゲン含有するエチレン不飽和単量体としては、アリルカルバゾール、メタクリロイルオキシエチルカルバゾール、アクリロイルエチルオキシカルバゾール、ビニルカルバゾール、ビニルベンジルカルバゾール、ビニルオキシエチルカルバゾール、ビニルナフタレン、ナフチルアクリレート、トリプロモフェニルアクリレート、ジプロモフェニルアクリレート、フェノキシエチルアクリレート、フルオレンヒドロキシアクリレート、2, 2'-(2-ヒドロキシエチルメタクリレート)(2, 3-ジヒドロキシプロピルメタクリレート)ジフェネート、2, 2'-(2-ヒドロキシエチルメタクリレート)ハイドロゲンジフェネート、および上記化合物の混合物を使用できる。

【0104】多官能アクリレートまたは多官能メタクリレートとしては、トリメチロールプロパントリアクリレート、ネオペンチルグリコールジアクリレート、ペンタ

エリスリトールトリアクリレート、ペンタエリスリトールテトラアクリレート、トリメチロールプロパントリメタクリレート、および上記化合物の混合物が使用できる。

【0105】光重合開始剤としては、2,4,6-トリメチルベンゾイルジフェニルホスフィンオキシライド、ベンジル、ベンゾインイソプロピルエーテル、BTB(3, 3', 4, 4'-テトラ(t-ブチルパーオキシカルボニル)ベンゾフェノン、過酸化ベンゾイル、ジ(t-ブチルパーオキシ)イソフタレート等の有機過酸化化合物、ベンゾイミダゾール、2-(o-クロロフェニル)4, 5-ジフェニルイミダゾール2量体等のイミダゾール類と、2-メルカプトベンゾチアゾール、p-ジエチルアミノベンゾフェノン、1H-1, 2, 4-トリアゾール-3-チオール、4-メチル-4H-1, 2, 4-トリアゾール-3-チオール等の化合物から選ばれた組み合わせの混合物、または、ピレン-シクロペンタジエンル-鉄-ヘキサフルオロアンチモン酸塩等の鉄-アレーン錯体、屈折率像を形成する光の波長に応じて、さらには増感色素として、4-(ジシアノメチレン)-2-メチル-6-(p-ジメチルアミノスチリル)-4H-ピラン、3, 3'-カルボニルビス(7-ジエチルアミノクマリン)、2, 5-ビス(4-ジエチルアミノベンジリデン)シクロペンタノン、2, 6-ビス(4-ジメチルアミノベンジリデン)シクロヘキサノン等を使用しても良い。

【0106】また、熱硬化性の非光反応成分を熱硬化させるために、熱硬化剤を用いても良い。例えば、エポキシ基を含有するバインダを用いる場合の熱硬化剤としては、ヘキサメチレンジアミン、トリメチルヘキサメチレンジアミン、ジエチレントリアミン、トリエチレントトラミン、トリ(メチルアミノ)ヘキサン、ジエチルアミノプロピルアミン、メンセンジアミン、イソフォロンジアミンなどのアミノ酸、メチルテトラヒドロ無水フタル酸、メチルヘキサヒドロ無水フタル酸などの酸無水物系、2-エチル-4-メチルイミダゾール、2-フェニルイミダゾールなどのイミダゾール類などが、水酸基を有するバインダを用いる場合の熱硬化剤としては、コロネートBH(日本ポリウレタン)、コロネート2092(日本ポリウレタン)、デュラネートTHA-100(旭化成)、デュラネートTPA-100(旭化成)、スミジュールN3500(住友バイエルウレタン)、タケネートD-170N(武田薬品)などのイソシアネート系硬化剤や、ニカラックMW030(三和ケミカル)、ニカラックMX-40(三和ケミカル)、サイメル325(三井東圧化学株式会社)などのメラミン系硬化剤がある。

【0107】これらの材料は、必要に応じ溶媒に溶媒し溶液として調整される。溶媒としては、テトラヒドロフラン、テトラヒドロピラン、アセトン、メタノール、ジアセトンアルコール、ジクロロメタン、ジクロロエタン、酢酸エチル、酢酸ブチル、ジオキサン、トルエン、などから使用する材料を溶解する溶媒が選ばれる。調整

された溶液は、注入、滴下、スピンコート、ナイフコーティング、ディッピング、スクリーン印刷等の方法によって充填または設置する。溶液に溶媒を含む場合は、放置、加熱、減圧等の方法で溶媒を除去する。

【0108】屈折率分布は、材料に光を照射することで形成される。作成する屈折率分布に応じ、一光束露光、多光束露光、干渉露光などの光照射方法を用いる。光源は、材料に添加した光重合開始剤や増感剤の感光波長域に応じて、紫外光、可視光、赤外光から選択して使用する。干渉露光する場合には、可干渉性の光源を使用する。

【0109】屈折率分布を形成する際に、上記光照射行程に加えて、40～140℃で加熱しても良く、さらに材料全体に光を照射しても良い。これらの工程によって、未反応のモノマを反応させて硬化させることができ、また、未反応の光重合開始剤や増感剤を破壊することもできる。以上のように本発明の屈折率像形成材料は、バインダとして、脂環式又は鎖式エポキシ、アクリル変性シリコーン、メタクリル変性シリコーン、エポキシ変性シリコーン、末端に水酸基を有するエチレン不飽和化合物をその構成単位中に有する共重合体など、反応性を有する化合物を使用するので、加熱又は光照射して架橋又は重合させることができ、優れた耐久性を得ることができる。

(q) 本発明の第17実施例の説明

上記した各実施例における屈折率像形成材料は、溶媒に溶解された後に、この溶液を、注入法、点滴法、スピンコート法、ナイフコーティング法、又はディッピング法のいずれかによって光学素子などに供給される。

【0110】また、その方法により供給された屈折率像形成材料は、溶媒を除去した後に、高屈折率像を形成するための波長の光がその一部に照射される。そして、高屈折率像が形成される前又は後には、少なくとも40℃～140℃の加熱、紫外線照射のいずれかが施される。

【0111】

【発明の効果】以上述べたように本発明によれば、光学素子の端面の間隔を開けて対向させて固定し、この光学素子間に屈折率像形成材料を供給し、次いで、少なくとも一方の光学素子から光を通して材料に光を照射し、これにより、集光性のレンズ効果を有する屈折率分布を形成している。このように、セルフアライメント方式で光学素子間を光結合するため、最初に光学素子を固定する時の位置合わせのトレランスが大きく、高い精度が要求されなくなり、結合が容易になる。また、形成された屈折率分布によって光を集光するもので、光学素子間の結合効率が良くなる。

【0112】また、上記した屈折率像形成材料は、光を照射するだけで、屈折率分布を形成することができ、さらに反応性を有する化合物をバインダとして使用しているので、バインダ化合物を硬化処理し、耐久性を向上させることができる。これらの結合方法および屈折率像形成材料を使用することにより、光学素子をラフなアライメントで高効率に結合することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例に係る光学素子結合方法を示す断面図である。

【図2】本発明の第1実施例に係る光学素子結合方法の別の形態を示す断面図である。

【図3】本発明の第1実施例により結合された光学素子間の屈折率分布図である。

【図4】本発明の第1実施例により結合された光軸ズレのある光学素子間の屈折率分布図である。

【図5】本発明の第1実施例により結合された光学素子間の屈折率分布図である。

【図6】本発明の第1、第3及び第4実施例に係る光学素子の結合状態を示す断面図である。

【図7】本発明の第2実施例に係る光学素子の結合方法を示す断面図である。

【図8】本発明の第3実施例に係る光学素子の結合方法を示す断面図である。

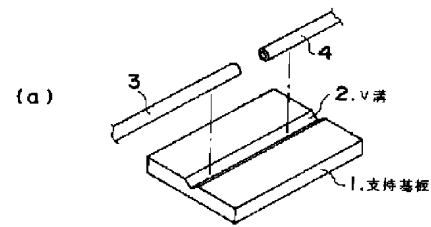
【図9】本発明の第5～第9実施例に係る光学素子結合方法を示す断面図である。

【図10】本発明の第10実施例に係る光学素子結合方法を示す断面図である。

【符号の説明】

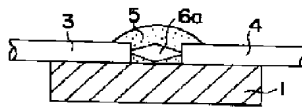
- 1、9、11 支持基板（支持体）
- 2 V溝
- 3、4、23、24 光ファイバ（光学素子）
- 5、25、35 屈折率像形成材料（光学素子結合材料）
- 6、6A、6B、26 高屈折率像
- 7 基板
- 8 半導体レーザ
- 20 ガラス筒
- 21 横溝
- 22 支持基板
- 30、32 ガラス板
- 31 V溝
- 33 光ファイバ
- 34 半導体レーザ
- 37 微動ステージ

【図1】

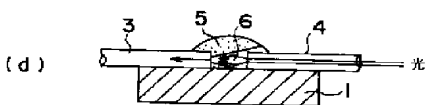
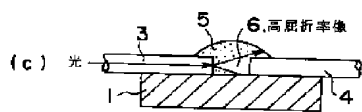
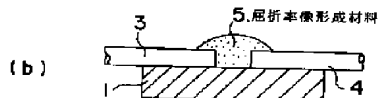
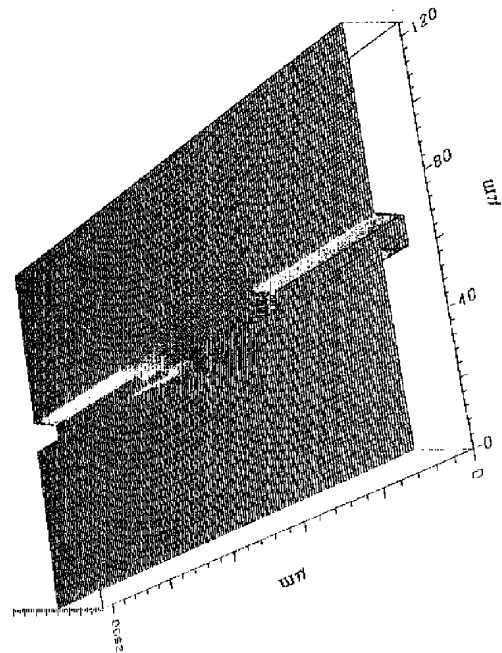


3, 4: 光ファイバ

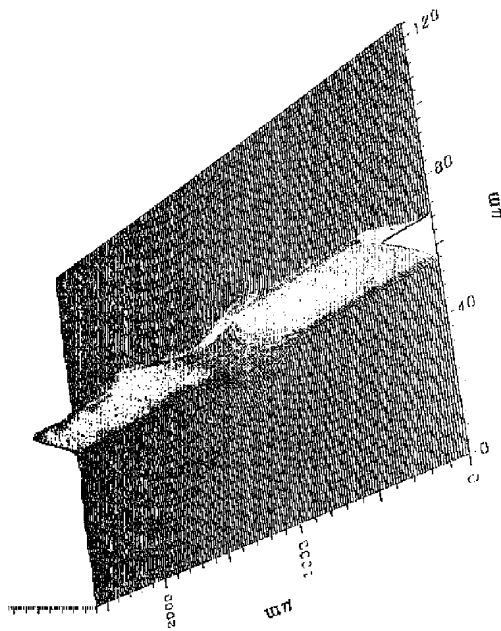
【図2】



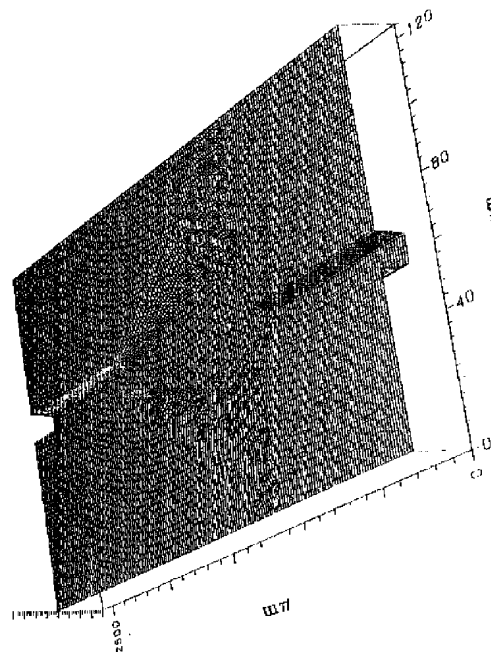
【図3】



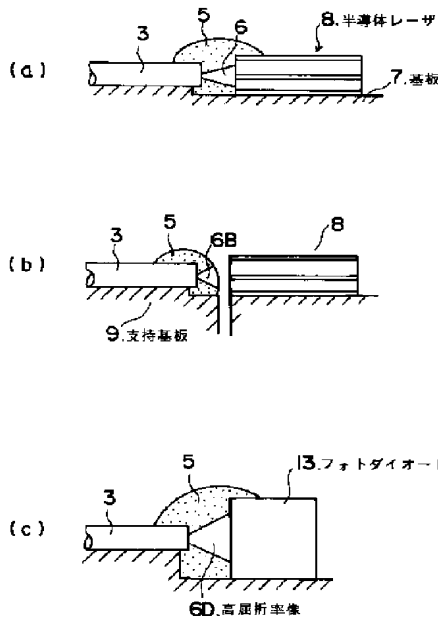
【図4】



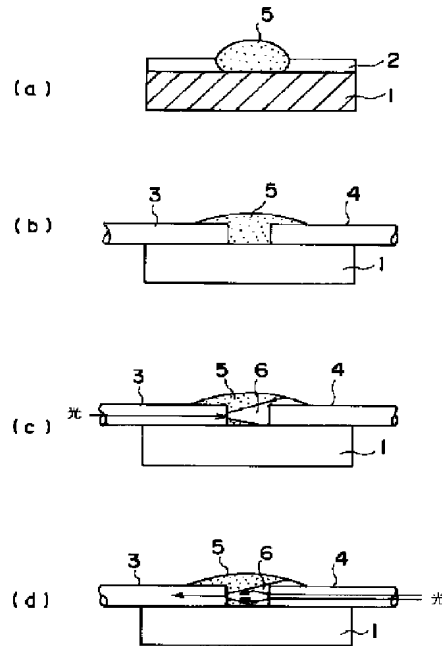
【図5】



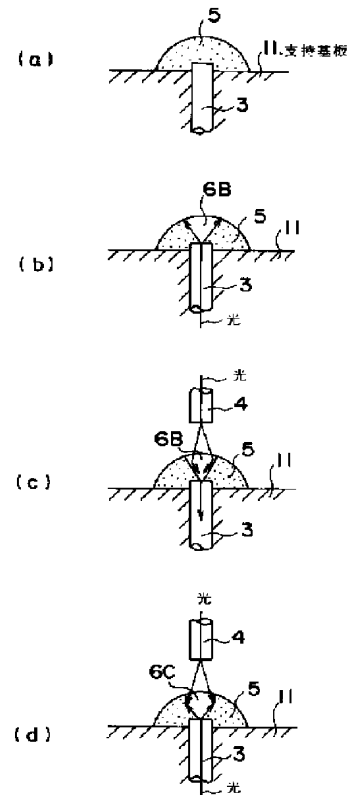
【図6】



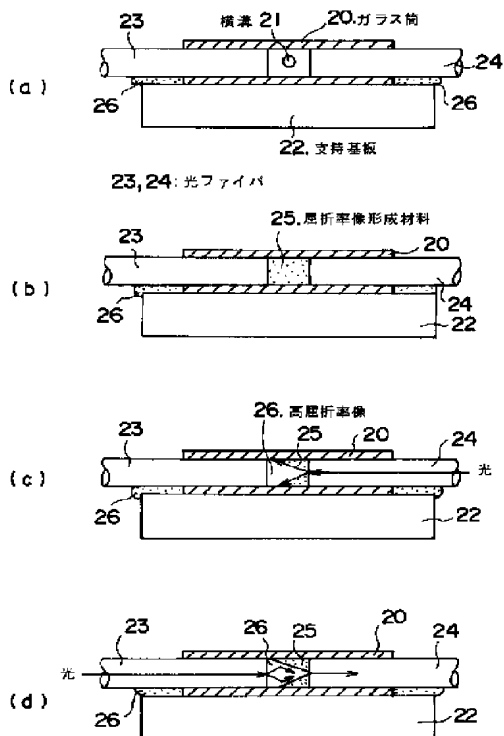
【図7】



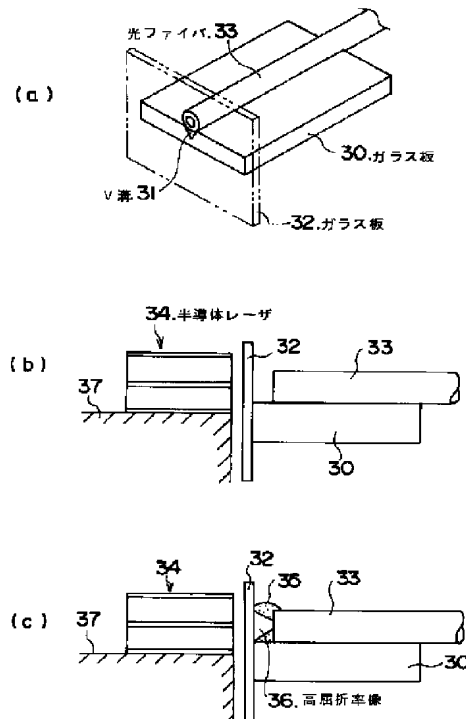
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 吉村 徹三

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(72)発明者 米田 泰博

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内